

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-143922

(43)Date of publication of application : 25.05.2001

(51)Int.Cl.

H01F 6/04

F25B 9/00

H01F 6/02

H01L 39/04

(21)Application number : 11-321309

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 11.11.1999

(72)Inventor : TOSAKA TAIZO

ITO KOJI

SHIMADA MAMORU

KURUSU TSUTOMU

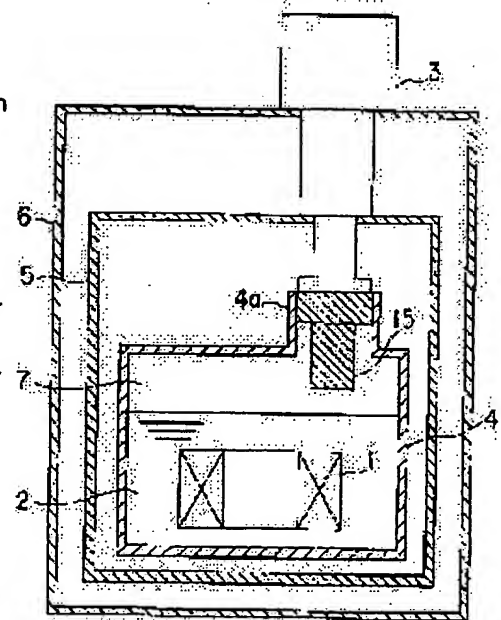
DOBASHI TAKAHIRO

(54) SUPERCONDUCTING MAGNET AND CIRCUIT FOR PROTECTING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To validly use the capability of a freezer.

SOLUTION: This superconducting magnet is provided with a helium vessel 4 for storing fluid helium 2, a superconducting coil 1 arranged so as to be immersed in the fluid helium in the helium vessel, a radiation shield 5 arranged so that the helium vessel 4 can be surrounded, a vacuum vessel 6 surrounding the helium vessel and the radiation shield whose inside part is held so as to be vacuum, and a freezer 3 arranged at the vacuum vessel side for cooling gas helium evaporated in the radiation shield 5 and the helium vessel 4. An opening in a proper size is formed at the upper face part of the helium vessel 4, and a condensed bar 15 whose heat conductivity is high is fixed to the opening so as to be projected in the atmosphere of the gas helium 7 in the helium vessel 4, and the condensed bar 15 is thermally connected with the thermal conductive part of the freezer 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-143922

(P2001-143922A)

(43) 公開日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームト* (参考)

H 0 1 F 6/04

Z A A

F 2 5 B 9/00

K 4 M 1 1 4

F 2 5 B 9/00

H 0 1 L 39/04

Z A A

H 0 1 F 6/02

Z A A

H 0 1 F 7/22

Z A A G

H 0 1 L 39/04

Z A A

Z A A K

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-321309

(22) 出願日 平成11年11月11日 (1999. 11. 11)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 戸坂 泰造

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(72) 発明者 伊藤 孝治

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地

株式会社東芝京浜事業所内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

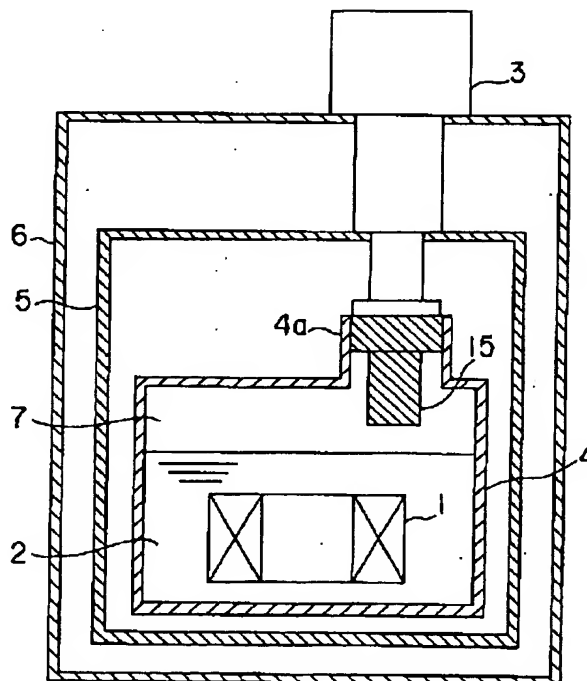
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導磁石とその保護回路

(57) 【要約】

【課題】 冷凍機的能力を有効に利用することにある。

【解決手段】 液体ヘリウム2が貯液されたヘリウム容器4と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイル1と、ヘリウム容器4を包囲するように設けられた輻射シールド5と、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空に保持された真空容器6と、真空容器側に設けられ、輻射シールド5およびヘリウム容器4内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機3とを備えた超電導磁石において、ヘリウム容器4の上面部に適宜大きさの開口部を設け、この開口部に熱伝導率の高い凝縮棒15をヘリウム容器4内のガスヘリウム7の雰囲気中に突出させて固定し、この凝縮棒15と冷凍機3の冷熱伝導部とを熱的に接続する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記輻射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、

前記ヘリウム容器の上面部に適宜大きさの開口部を設け、この開口部に熱伝導率の高い凝縮棒を前記ヘリウム容器内のガスヘリウム雰囲気中に突出させて固定し、この凝縮棒と前記冷凍機の冷熱伝導部とを熱的に接続したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項2】 請求項1記載の超電導磁石において、前記凝縮棒と前記ヘリウム容器の開口部との間に熱収縮の差により生じる凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との対峙面における変位量が吸収可能な弾性体を介在させて凝縮棒をヘリウム容器に固定したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項3】 請求項1記載の超電導磁石において、前記凝縮棒と前記冷凍機の冷熱伝導部との間に熱収縮の差により生じる凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との対峙面における変位量が吸収可能な可撓体を介在させて、前記凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との間を熱的に接続したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項4】 請求項1記載の超電導磁石において、前記ヘリウム容器の開口部に一端が液体ヘリウムの液面近傍に達するように対流防止部材を挿入すると共に、この対流防止部材に包囲されるように前記凝縮棒を配設したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項5】 液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記輻射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、

前記ヘリウム容器内の液体ヘリウム中に没入させて設けられたヒータと、前記ヘリウム容器内のガスヘリウム雰囲気中に設けられ、前記ヘリウム容器内の圧力を測定する圧力計測手段と、この圧力計測手段により測定された前記ヘリウム容器内の圧力に応じて前記ヒータを制御して前記ヘリウム容器内の圧力を所定の圧力に維持する圧力制御器とを具備したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項6】 液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて

配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記輻射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、

前記ヘリウム容器内の液体ヘリウムの液面を測定する液面計測手段と、前記超電導コイルの励磁電圧を計測する電圧計測手段と、これら計測手段による計測タイミングを制御し、予め設定された時間間隔で前記液面計測手段により液面を測定させると共に、前記電圧計測手段により測定された励磁電圧に感知すると前記液面計測手段により随時液面を計測させる制御装置とを具備したことを特徴とする超電導磁石。

【請求項7】 クライオスタット内に収容された超電導コイルと、前記クライオスタットの外部に設置され、前記超電導コイルを励磁するための励磁電源と、前記クライオスタット内に設置され、前記励磁電源と前記超電導コイル間に介挿された酸化物超電導体からなる電流リードと、前記超電導コイルに並列に接続された保護回路とで構成された超電導磁石において、

前記超電導コイルと前記電流リード間に一端が接続され、前記クライオスタットの外部に導入された一対の補助リードと、この一対の補助リード間に前記クライオスタットの外部で直列に接続された放電抵抗とで構成することを特徴とする超電導磁石の保護回路。

【請求項8】 請求項7記載の超電導磁石の保護回路において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に制御装置により制御される電流制御部を設けたことを特徴とする超電導磁石の保護回路。

【請求項9】 請求項7記載の超電導磁石の保護回路において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に自己制御型の電流制御部を設けたことを特徴とする超電導磁石の保護回路。

【請求項10】 請求項9記載の超電導磁石の保護回路において、電流制御部は、その両端に発生した電圧により制御される電流制御素子もしくは電流制御回路であることを特徴とする超電導磁石の保護回路。

【請求項11】 請求項7記載の超電導磁石の保護回路において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に制御装置により制御される電流制御素子と、両端に発生した電圧により制御される電流制御素子もしくは電流制御回路とを複数並列に接続して設けたことを特徴とする超電導磁石の保護回路。

【請求項12】 超電導コイルがクライオスタット内部に配置された超電導磁石において、前記クライオスタット内の超電導コイルに通電するための電流導入端子を前記クライオスタットの内部から外部に貫通させて設置し、この電流導入端子の外部側に向け

て送風可能に送風手段を設けたことを特徴とする超電導磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、液体ヘリウム浸漬冷却型超電導磁石および超電導磁石の保護回路に関する。

【0002】

【従来の技術】超電導コイルを液体ヘリウム中に浸漬して冷却するようにした超電導磁石としては、侵入熱等により蒸発した液体ヘリウムを大気へ開放するタイプと冷凍機により再凝縮するタイプがある。

【0003】図15は、再凝縮タイプを採用した超電導磁石の一例を示すものである。

【0004】図15に示す超電導磁石は、ヘリウム容器4内の液体ヘリウム2中に浸漬させて超電導コイル1が収められ、またこのヘリウム容器4を包囲するように輻射シールド5を設け、ヘリウム容器4に入る輻射熱を低減している。そして、これらヘリウム容器4、輻射シールド5を包囲するように真空容器6が配置されている。

【0005】この真空容器6には、冷凍機3が装備され、この冷凍機3の1段部を輻射シールド5に熱的に接触させ、2段部をヘリウム容器4に熱的に接触させて冷熱を与えている。

【0006】なお、図中8はヘリウム容器4内の液体ヘリウムの液面を計測する液面計測手段である。

【0007】このような超電導磁石において、輻射シールド5は、冷凍機3の1段部によって50 K程度に冷却される。また、超電導コイル1は、液体ヘリウム2により冷却され、約4 Kに保持されている。

【0008】さらに、ヘリウム容器4の支持材からの熱伝導、輻射熱などの侵入熱で液体ヘリウム2は蒸発し、そのガスヘリウム7を再凝縮させて液体ヘリウム2に戻すには、ガスヘリウム7が凝縮する温度(約4 K)より低い温度の部分に接触させる必要がある。この接触部を以下ではヘリウム凝縮面と呼ぶ。

【0009】このため、従来では、図示するように冷凍機3とヘリウム容器4とを直接熱的に接続し、ヘリウム容器4の内面が、ヘリウム凝縮面となるように冷熱を与えてヘリウムガスを再凝縮している。

【0010】一方、図16は、従来の超電導磁石と保護回路の一例を示すものである。

【0011】超電導コイル1は、その両端部に酸化物超電導電流リード9が接続され、クライオスタット内部に収められている。酸化物超電導電流リード9は、クライオスタットの外部へ導出され、超電導コイル1を励磁するための励磁電源10に遮断器11を介して接続され、これら励磁電源10及び遮断器11は、制御装置12に接続されている。

【0012】また、保護回路としては、超電導コイル1

と並列にクライオスタットの内部に設置されたダイオード13と放電抵抗14の直列回路を接続している。

【0013】このような超電導磁石の保護回路において、超電導コイル1のクエンチが検出されると、制御装置12からの信号で遮断器11は回路を切り離し、励磁電源10から流れていた電流は保護回路に転流する。保護回路の中に酸化物超電導電流リード9が組み込まれていないのは、酸化物超電導電流リード9がクエンチとなる可能性があり、その場合継続的に通電ができないため、保護回路の構成要素として適さないためである。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】上記のような構造の超電導磁石において、冷凍機3の能力は図14に示すように温度に対して強い依存性があり、温度が下がると冷却能力が急激に悪化するという傾向がある。

【0015】しかるに、従来のヘリウム容器4は、オーステナイト系ステンレス鋼のような熱伝導率の低い材質が用いられているため、このヘリウム容器4に冷凍機3を熱的に接触させ、ヘリウム容器4の内面を凝縮面とする場合、そこに大きな温度差 ΔT が生じてしまう。図14からわかるように、温度差 ΔT に対して冷凍機3の能力はその分だけ落ちてしまうので、冷凍機3の能力を生かしきれていないという欠点があった。

【0016】また、図15において、冷凍機3とヘリウム容器4の位置関係は、熱収縮率の差により、装置組立時と冷却完了時では相対的にずれが生じ、また冷凍機3とヘリウム容器4とは熱的に接触させているため、これらの位置関係にずれが生じないように固定するとその固定部分に大きな荷重がかかり、冷凍機3の性能劣化、構造破壊の原因になってしまう。

【0017】さらに、図15において、ヘリウム容器4の内部圧力は、侵入熱の量と、冷凍機3の冷却能力のバランスにより決まるが、それが大気圧以下になると、ヘリウム容器4の中に大気吸い込まれて氷結し、配管づまりの原因になる。

【0018】また、図15において、超電導コイル1を励磁する際、液体ヘリウム2の液量が少ないとクエンチする可能性があるため、液面高さの把握は重要となる。従って、通常は液面を測定する液面計測手段11が設けられているが、この液面計測手段11の熱負荷は、冷凍機3の能力と匹敵するくらい大きいので、1分計測、1時間休止というような間欠運転をして熱負荷を減らしている。

【0019】しかし、この運転方法は、通常の液面の場合はほとんど変化しないので十分であるが、励消磁時など一時的に大きな発熱がある場合には、急激に液面が変化する場合があり、液面測定の測定間隔中、すなわち液面測定を行っていないときに励消磁運転をすると液面高さをモニターできないことになる。

【0020】一方、図16に示す超電導磁石の保護回路

においては、クライオスタットの中で保護回路の構成要素としてダイオード 13 のような半導体素子を使用するのは、信頼性の点で好ましいことではなく、ダイオード 9 に何らかの故障が発生した場合には、クライオスタットを分解、交換の必要があった。

【0021】また、超電導コイル 1 がクライオスタットの内部に配置された超電導磁石では、超電導コイル 1 に通電するための電流導入端子がクライオスタット外表面に設置される。しかしながら、電流導入端子は、内部からの伝導冷却で冷却されるため、外表面に水滴がつき、対地絶縁性能が悪化する。励磁電圧が数ボルト程度と低い場合には、そのまま通電することもできるが、励磁電圧が高くなると漏電の危険性がでてくる。

【0022】本発明は上記のような事情に鑑みてなされたもので、冷凍機的能力を有効に利用でき、また冷凍機とヘリウム容器の冷却による位置ずれを吸収することができる超電導磁石を提供することを目的とする。

【0023】また、クライオスタットの内部にダイオードのような半導体素子を設置すること無く、超電導コイルを保護できると共に、電流導入端子の外表面に水滴がつかないようにして、対地絶縁の健全性を維持することができる超電導磁石の保護回路を提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達成するため、次のような手段により超電導磁石及びその保護回路を構成するものである。

【0025】請求項 1 に対応する発明は、液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記輻射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、前記ヘリウム容器の上面部に適宜大きさの開口部を設け、この開口部に熱伝導率の高い凝縮棒を前記ヘリウム容器内のガスヘリウム雰囲気中に突出させて固定し、この凝縮棒と前記冷凍機の冷熱伝導部とを熱的に接続する。

【0026】上記請求項 1 に対応する発明の超電導磁石によれば、冷凍機に熱的に接触させた熱伝導率の高い凝縮棒により、液体ヘリウムの凝縮温度以下に冷やされた十分な面積の凝縮面が得られるので、再凝縮効率を高めることができる。

【0027】請求項 2 に対応する発明は、請求項 1 に対応する発明の超電導磁石において、前記凝縮棒と前記ヘリウム容器の開口部との間に熱収縮の差により生じる凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との対峙面における変位量が吸収可能な弾性体を介在させて凝縮棒をヘリウム容器に

固定する。

【0028】上記請求項 2 に対応する発明の超電導磁石によれば、凝縮棒が変位を吸収できる弾性体を介在させてヘリウム容器に固定されているので、熱収縮の違いによる冷凍機とヘリウム容器の位置ずれを吸収することができ、冷凍機が性能劣化や構造破壊することがない。

【0029】請求項 3 に対応する発明は、請求項 1 に対応する発明の超電導磁石において、前記凝縮棒と前記冷凍機の冷熱伝導部との間に熱収縮の差により生じる凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との対峙面における変位量が吸収可能な可撓体を介在させて、前記凝縮棒と冷凍機の冷熱伝導部との間を熱的に接続する。

【0030】上記請求項 3 に対応する発明の超電導磁石によれば、冷凍機と凝縮棒の間に、可撓体を介在させて熱的な接触を得ているので、請求項 2 に対応する発明と同様な効果を得ることができる。

【0031】請求項 4 に対応する発明は、請求項 1 に対応する発明の超電導磁石において、前記ヘリウム容器の開口部に一端が液体ヘリウムの液面近傍に達するように対流防止部材を挿入すると共に、この対流防止部材に包囲されるように前記凝縮棒を配設する。

【0032】上記請求項 4 に対応する発明の超電導磁石によれば、凝縮棒の外周に対流防止部材を設置することにより、液体温度に近いガスだけが凝縮棒の近くに集まるので、効率よく再凝縮できる。

【0033】請求項 5 に対応する発明は、液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記輻射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、前記ヘリウム容器内の液体ヘリウム中に没入させて設けられたヒータと、前記ヘリウム容器内のガスヘリウム雰囲気中に設けられ、前記ヘリウム容器内の圧力を測定する圧力計測手段と、この圧力計測手段により測定された前記ヘリウム容器内の圧力に応じて前記ヒータを制御して前記ヘリウム容器内の圧力を所定の圧力に維持する圧力制御器とを具備する。

【0034】上記請求項 5 に対応する発明の超電導磁石によれば、ヘリウム容器の内部に設置されたヒータを加熱させて、ヘリウム容器内部の圧力を制御するので、大気がヘリウム容器の中に吸い込むことがなくなる。

【0035】請求項 6 に対応する発明は、液体ヘリウムが貯液されたヘリウム容器と、このヘリウム容器内の液体ヘリウム中に浸漬させて配設された超電導コイルと、前記ヘリウム容器を包囲するように設けられた輻射シールドと、これらヘリウム容器および輻射シールドを包囲

し、且つ内部が真空中に保持された真空容器と、前記真空容器側に設けられ、前記放射シールドおよび前記ヘリウム容器内で蒸発したガスヘリウムをそれぞれ冷却する冷凍機とを備えた超電導磁石において、前記ヘリウム容器内の液体ヘリウムの液面を測定する液面計測手段と、前記超電導コイルの励磁電圧を計測する電圧計測手段と、これら計測手段による計測タイミングを制御し、予め設定された時間間隔で前記液面計測手段により液面を測定させると共に、前記電圧計測手段により測定された励磁電圧に感知すると前記液面計測手段により随時液面を計測させる制御装置とを具備する。

【0036】上記請求項6に対応する発明によれば、液面計測手段を間欠運転することで液体ヘリウム2容器での熱負荷を最小限に抑えつつ、励磁を自動的に感知して随時液面を計測するので、液体ヘリウムの不足によるクエンチの発生がなく、安全性の高いものとなし得る。

【0037】請求項7に対応する発明は、クライオスタット内に收容された超電導コイルと、前記クライオスタットの外部に設置され、前記超電導コイルを励磁するための励磁電源と、前記クライオスタット内に設置され、前記励磁電源と前記超電導コイル間に介挿された酸化物超電導体からなる電流リードと、前記超電導コイルに並列に接続された保護回路とで構成された超電導磁石において、前記超電導コイルと前記電流リード間に一端が接続され、前記クライオスタットの外部に導入された一対の補助リードと、この一対の補助リード間に前記クライオスタットの外部で直列に接続された放電抵抗とで構成する。

【0038】請求項8に対応する発明は、請求項7に対応する発明の超電導磁石において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に制御装置により制御される電流制御部を設ける。

【0039】上記請求項7及び請求項8に対応する発明によれば、補助リードを具備することにより、放電抵抗をクライオスタット外部に設置できるため、ダイオード等の半導体をクライオスタット内部に設置する必要がなく、信頼性の高い保護回路となし得る。

【0040】請求項9に対応する発明は、請求項7に対応する発明の超電導磁石において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に自己制御型の電流制御部を設ける。

【0041】上記請求項9に対応する発明によれば、補助リード間に自己制御型の電流制御部を直列に接続することで、正常な励磁中においては、保護回路への分流せず応答性の速いものとなし得る。

【0042】請求項10に対応する発明は、請求項9に対応する発明の超電導磁石の保護回路において、電流制御部は、その両端に発生した電圧により制御される電流制御素子もしくは電流制御回路である。

【0043】請求項9に対応する発明によれば、補助リード間に設置する電流制御部を、両端に発生した電圧に

より制御される電流制御素子もしくは電流制御回路とすることで、信号処理の失敗などによる誤動作などがなく、安全性を高めることができる。

【0044】請求項11に対応する発明は、請求項7に対応する発明の超電導磁石の保護回路において、前記補助リード間に放電抵抗と直列に制御装置により制御される電流制御素子と、両端に発生した電圧により制御される電流制御素子もしくは電流制御回路とを複数並列に接続して設ける。

【0045】上記請求項11に対応する発明によれば、補助リード間に設置する電流制御部に制御装置により制御される電流制御素子と、ある設定電圧以上になると短絡する電流制御回路を並列にすることにより、緻密な制御と、受動的な安全性を兼ね備えたものとなる。

【0046】請求項12に対応する発明は、超電導コイルがクライオスタット内部に配置された超電導磁石において、前記クライオスタット内の超電導コイルに通電するための電流導入端子を前記クライオスタットの内部から外部に貫通させて設置し、この電流導入端子の外部側に向けて送風可能に送風手段を設ける。

【0047】上記請求項12に対応する発明によれば、送風手段を設置することで、電流導入端子に水滴がつくことを防止し、良好な対地絶縁を保持することができる。

【0048】

【発明の実施の形態】以下本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0049】図1は本発明による超電導磁石の第1の実施の形態を示す断面図であり、図15と同一部品には同一符号を付して説明する。

【0050】図1において、4は内部に液体ヘリウム2が貯液され、且つ上面部に開けられた適宜大きさの開口部に筒体4aが取付けられたヘリウム容器で、このヘリウム容器4内には超電導コイル1が液体ヘリウム中に浸漬させて収納されている。

【0051】また、5はヘリウム容器4を包囲するように設けられた放射シールド、6は内部にヘリウム容器を包囲した放射シールド5を配置した真空容器である。

【0052】一方、3は真空容器6の上面部に装備された冷凍機で、この冷凍機3は1段部及び2段部の冷熱伝導体を有している。そして、1段部の冷熱伝導体を放射シールド5に熱的に接触させ、2段部の冷熱伝導体をヘリウム容器4側の筒体4aに先端部をヘリウム容器4内に臨ませて挿入された凝縮棒15に熱的に接触させている。この凝縮棒15はガスヘリウム7が凝縮する温度(約4K)より低い温度に保たれるため、この部分にガスヘリウム7を熱的に接触させて冷熱を与えている。

【0053】この場合、冷凍機3の1段部の冷熱伝導体により放射シールド5は、50K程度に冷却保持されている。また、凝縮棒15は、冷凍機3とほとんど温度差

ができないように無酸素銅などの高熱伝導率材料から作製されている。

【0054】上記構成の第1の実施の形態によれば、ヘリウム容器4内のヘリウムガス7とその接触部が液体ヘリウム2の凝縮温度以下に保たれ、十分な面積の凝縮面がヘリウム容器4の中で得られるので、侵入熱により蒸発したガスヘリウム7は効率よく再凝縮される。

【0055】図2は本発明による超電導磁石の第2の実施の形態を示す断面図で、図1と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0056】第2の実施の形態では、図2に示すようにヘリウム容器4の上面部に開けられた適宜大きさの開口部周縁と冷凍機3の2段部と熱的に接触する凝縮棒15の頭部との間に、冷凍機3とヘリウム容器4との熱収縮率の差により生じる位置関係のずれによる変位が吸収可能なベローズのような弾性体16を介在させて、凝縮棒15をヘリウム容器4に固定するものである。

【0057】上記構成の第2の実施の形態によれば、熱収縮の差により生じる冷凍機3とヘリウム容器4の位置ずれを弾性体16で吸収することができるので、冷凍機3の性能劣化や構造破壊を惹起することがない。

【0058】図3は本発明による超電導磁石の第3の実施の形態を示す断面図で、図1と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0059】第3の実施の形態では、図3に示すように冷凍機3の2段部とヘリウム容器4側の筒体4aに挿入保持された凝縮棒15の頭部との間に、可撓体17を介在させて熱的な接触を得るようにしたものである。この可撓体17は高熱伝導率材料である無酸素銅の平網線や薄板を重ねたものなどが望ましい。

【0060】上記構成の第3の実施の形態としても、第2の実施の形態と同様の作用効果が得られる。

【0061】図4は本発明による超電導磁石の第4の実施の形態を示す断面図で、図1と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0062】第4の実施の形態では、図4に示すようにヘリウム容器4の上面部に開けられた適宜大きさの開口部に筒状の対流防止部材18の一端が液体ヘリウム2の液面近傍に達するように挿入して取付け、この対流防止部材18に先端部をヘリウム容器4内に臨ませて挿入保持された凝縮棒15に冷凍機3の2段部の冷熱伝導体と熱的に接触させるようにしたものである。

【0063】上記構成の超電導磁石において、ガスヘリウム7の温度は、凝縮温度すなわち液体温度に近いほど液体ヘリウム2に再凝縮しやすい。一方、ガスヘリウム7中では、侵入熱の分布によって形成されるガス温度分布が原因となって対流が発生し、凝縮棒15の近傍に暖

かいガスが流れてくる可能性がある。

【0064】第4の実施の形態によれば、対流防止部材18により、液体温度に近い液面近くのヘリウムガス7だけが凝縮棒15の近くに集まるので、効率よく再凝縮することができる。

【0065】図5は本発明による超電導磁石の第5の実施の形態を示す断面図で、図1と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0066】第5の実施の形態では、図5に示すようにヘリウム容器4の内部にヒータ19を液体ヘリウム中に没入させて設けると共に、ヘリウム容器4内部のヘリウムガス7の雰囲気中にガス圧力を測定する圧力計測手段20を設け、ヒータ19を真空容器6の外部に導出されたリード線を介してヒータ電源21に接続し、圧力計測手段20の測定部を真空容器6の外部に導出してヒータ電源21と共に圧力制御器22にそれぞれ接続するものである。

【0067】この場合、圧力制御器22は圧力計測手段20により測定された圧力が、予め設定された圧力以下になったときに、ヒータ電源を働かせ、別途予め設定された圧力になるまでヒータ19を加熱させるようになっている。

【0068】上記構成の第5の実施の形態によれば、ヒータ19を加熱して液体ヘリウムを蒸発させ、ヘリウム容器4が大気圧以下にならないように調整するので、大気を吸い込むことはなくなり、長期運転可能な超電導磁石となし得る。

【0069】図6は本発明による超電導磁石の第6の実施の形態を示す断面図で、図1と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0070】第6の実施の形態では、図6に示すようにヘリウム容器4の内部にヘリウム液面を測定する液面計測手段8を設け、その液面計測信号を真空容器6の外部の液面計23に入力し、また超電導コイル1の両端を真空容器6の外部の励磁電源24に接続すると共に、その励磁電圧を測定する電圧計25を設け、これら液面計23、励磁電源24及び電圧計25を制御装置26に接続する構成とするものである。

【0071】ここで、上記制御装置26は、予め設定された時間間隔で液面計23を通して液面計測手段8に液面を計測させるとともに、電圧計25に励磁電圧が感知されると、それに応じて随時液面計測手段8を運転させる。また、液面計測手段8により計測された液面がある設定値以下になれば、励磁電源24にインターロック信号を送ることもできる。

【0072】上記構成の第6の実施の形態によれば、液面計測手段8を間欠運転させることによりヘリウム容器4内での熱負荷を最小限に抑えつつ、励磁を自動的に感

知して随時液面を計測することが可能となり、液体ヘリウム 2 の不足によるクエンチの発生を抑制できる。

【0073】図 7 は本発明による超電導磁石の第 7 の形態を示す回路図で、図 16 と同一部品には同一符号を付して説明する。

【0074】第 7 の実施の形態において、超電導コイル 1 は、その両端部に酸化物超電導電流リード 9 が接続され、クライオスタット内部に収められている。酸化物超電導電流リード 9 は、クライオスタットの外部へ導出され、超電導コイル 1 を励磁するための励磁電源 10 に遮断器 11 を介して接続されている。

【0075】そして、これら励磁電源 10 および遮断器 11 は制御装置 12 に接続されている。

【0076】また、保護回路としては、超電導コイル 1 の両端と酸化物超電導電流リード 9 との間に補助リード 27 の一端を接続し、その他端をクライオスタットの外部へ導出し、その導出端子間に放電抵抗 14 が接続され、保護回路を形成している。

【0077】このような超電導磁石の保護回路において、クエンチが検出されると、制御装置 12 からの信号で遮断器は励磁回路を切り離し、励磁電源 10 から流れていた電流は保護回路に転流する。正常な励磁の場合は、励磁電源 10 から供給される電流のうち、保護回路には、励磁電圧 (V) と放電抵抗 14 (R) に相応した $I = V/R$ の分流があり、放電抵抗 14 で発熱するが、この放電抵抗 14 はクライオスタットの外部にあるので、特に問題はない。

【0078】本実施の形態によれば、超電導コイル 1 の両端に補助リード 27 を接続することにより、放電抵抗 14 をクライオスタット外部に設置できるため、従来のようにダイオードのような半導体素子をクライオスタット内部に設置する必要がなく、信頼性の高い保護回路となし得る。

【0079】図 8 は本発明による超電導磁石の第 8 の形態を示す回路図で、図 7 と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0080】第 8 の形態では、図 8 に示すようにクライオスタットの外部に導出された補助リード 27 の導出端子間に放電抵抗 14 と直列に電流制御部 28 を接続して、保護回路を形成し、制御装置 12 により電流制御部 28 を制御可能な構成とするものである。

【0081】この場合、上記電流制御部 28 は、制御装置 12 からの信号により電流を制御する素子または回路で、例えばサイリスタのような一方電流制御素子から構成されている。

【0082】上記構成の超電導磁石の保護回路において、超電導コイル 1 の通電中にクエンチが検出されると、制御装置 12 からの信号により電流制御部 28 は短絡される。その後、制御装置 12 からの信号により遮断

器 1 は励磁回路を切り離し、励磁電源 10 から超電導コイル 1 に流れていた電流は保護回路に転流し、第 7 の実施の形態と同様に放電抵抗 14 の発熱によりエネルギーが消費される。

【0083】上記第 8 の実施の形態によれば、電流制御部 28 を設けたことで、正常な励磁中においては、保護回路に分流しないので、励磁電源 10 を流れる電流と、実際に超電導コイル 1 に流れる電流が常に一致し、応答性の速い超電導磁石となし得る。

【0084】図 9 は本発明による超電導磁石の第 9 の形態を示す回路図で、図 8 と同一部品には同一符号を付してその説明を省略し、ここでは異なる点について述べる。

【0085】第 9 の実施の形態では、放電抵抗 14 と直列に接続された電流制御部 28 として、ダイオードなどの一方電流制御素子や、図 10 に示すようにある設定電圧以上になるとサイリスタ 19 に点弧信号が自動的に入るように設計された自己点弧型の回路により構成して制御装置 12 による制御を不要にしたものである。

【0086】上記構成の第 9 の実施の形態によれば、制御装置 12 での信号処理の失敗などによる誤動作などがなく、安全性の高い保護回路となし得る。

【0087】上記では、制御装置 12 からの信号により制御を受けない図 10 に示すような回路構成の電流制御部 28 を使用したが、第 9 の実施の形態において、電流制御部 28 として、図 11 に示すように制御装置 12 からの信号により電流を制御するサイリスタ 29 のような電流制御素子と、ある設定電圧以上になると短絡する電流制御回路とを並列接続した回路構成のものを使用して

もよい。

【0088】上記構成の超電導磁石の保護回路において、通常は第 8 の実施の形態と同様にクエンチが検出されると、電流制御部 28 は短絡されるが、仮にこの制御が失敗したとしても、電流制御部 28 の両端に発生する電圧により、自己点弧型の電流制御回路が短絡されるので、保護回路としての機能が失われることがない。

【0089】このような構成の電流制御部 28 を用いれば、電流制御を制御装置 12 の信号で行う緻密な制御と、自己点弧型の電流制御回路のような受動的に行う制御との二重化を図ることにより、安全性を兼ね備えた保護回路となし得る。

【0090】また、図 11 に示す回路構成の電流制御部をお互いに逆向きにして並列に接続した図 12 に示すような回路構成の電流制御部 28 を用いてもよい。

【0091】このような構成の電流制御部を用いれば、正逆の両励磁方向に対応できる超電導磁石の保護回路となし得る。

【0092】図 13 は本発明による超電導磁石の第 10 の実施の形態における電流導入端子部の構成を示す断面図である。

【0093】第10の実施の形態では、図13に示すようにクライオスタットの内側と外側を貫通させてクライオスタットの内部の超電導コイルに電流を導入する電流導入端子30を設け、クライオスタットの外側、すなわち電流導入端子30の大気側を感電防止用のカバー31で包囲すると共に、このカバー31に送風手段32を設ける構成とするものである。

【0094】このカバー31には、排気出口33が設けられており、通風路を形成しているので、効率良く電流導入端子30に送風することができる。また、電流導入端子30は、クライオスタット内部からの伝熱で冷却され、露点以下の温度になる可能性が有るが、送風手段32により大気温度近くで保持されるので、水滴がつくことはない。

【0095】上記構成の第10の実施の形態によれば、電流導入端子30に水滴がつくことを防止することで、対地絶縁が良好である。

【0096】

【発明の効果】以上述べたように本発明による超電導磁石によれば、冷凍機的能力を有効に利用できると共に、安全且つ信頼性の向上を図ることができ、また冷凍機とヘリウム容器の冷却による位置ずれを吸収することができる。

【0097】また、本発明による超電導磁石の保護回路によれば、クライオスタット内にダイオード等の半導体を設置すること無く、超電導コイルを保護できると共に、電流導入端子の外表面に水滴がつかないようにして、対地絶縁の健全性を保持することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による超電導磁石の第1の実施の形態を示す断面図。

【図2】本発明による超電導磁石の第2の実施の形態を示す断面図。

【図3】本発明による超電導磁石の第3の実施の形態を示す断面図。

【図4】本発明による超電導磁石の第4の実施の形態を示す断面図。

【図5】本発明による超電導磁石の第5の実施の形態を示す断面図。

【図6】本発明による超電導磁石の第6の実施の形態を示す断面図。

【図7】本発明による超電導磁石の第7の実施の形態を示す回路図。

【図8】本発明による超電導磁石の第8の実施の形態を示す回路図。

【図9】本発明による超電導磁石の第9の実施の形態を示す回路図。

【図10】同実施の形態における電流制御部の構成例を示す回路図。

【図11】同実施の形態における電流制御部の他の構成例を示す回路図。

【図12】同実施の形態における電流制御部のさらに異なる構成例を示す回路図。

【図13】本発明による超電導磁石の第10の実施の形態における電流導入端子部の構成を示す断面図。

【図14】再凝縮タイプを採用した超電導磁石に使用される冷凍機の冷却特性の説明図。

【図15】従来の再凝縮タイプを採用した超電導磁石の一例を示す断面図。

【図16】従来の保護回路を備えた超電導磁石の一例を示す回路図。

【符号の説明】

1……超電導コイル

2……液体ヘリウム

3……冷凍機

4……ヘリウム容器

5……輻射シールド

6……真空容器

7……ガスヘリウム

8……液面計測手段

9……酸化物超電導電流リード

10……励磁電源

11……遮断器

12……制御装置

13……ダイオード

14……放電抵抗

15……凝縮棒

16……弾性体

17……可撓体

18……対流防止部材

19……ヒータ

20……圧力計測手段

21……ヒータ電源

22……圧力制御器

23……液面計

24……励磁電源

25……電圧計

26……制御装置

27……補助リード

28……電流制御部

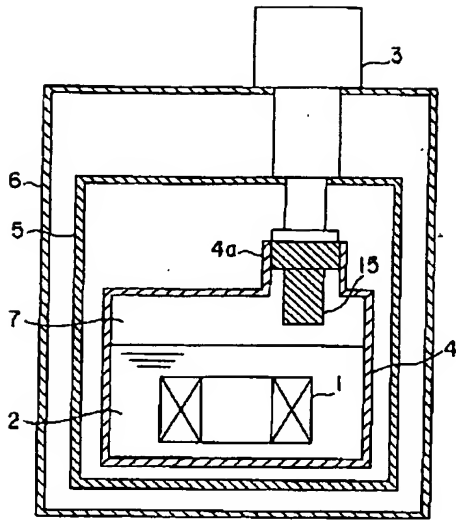
29……サイリスタ

30……電流導入端子

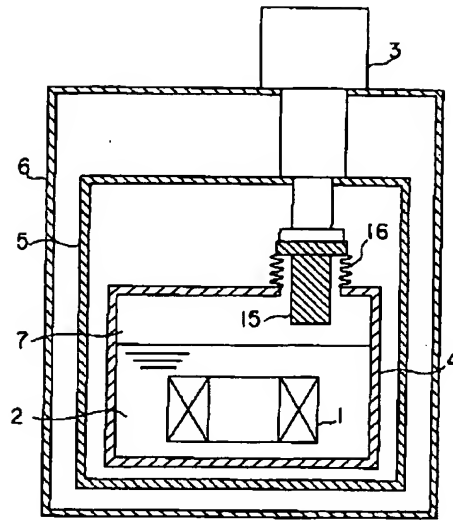
31……カバー

32……送風手段

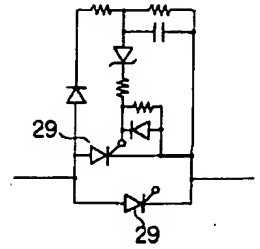
【図1】



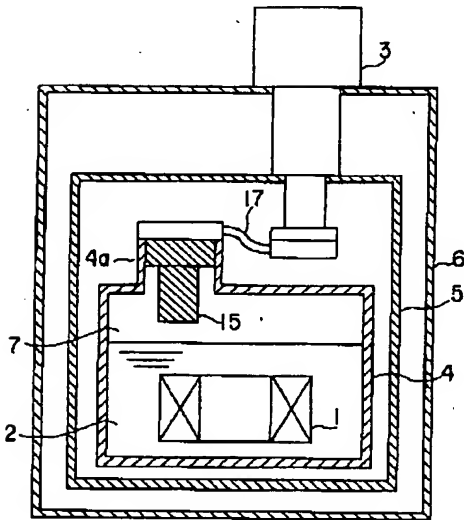
【図2】



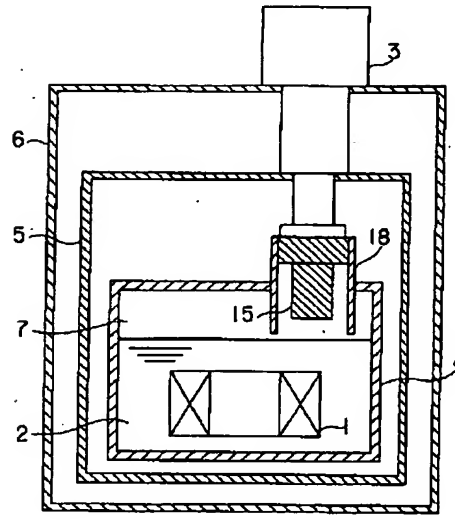
【図11】



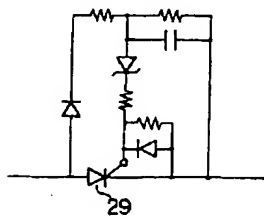
【図3】



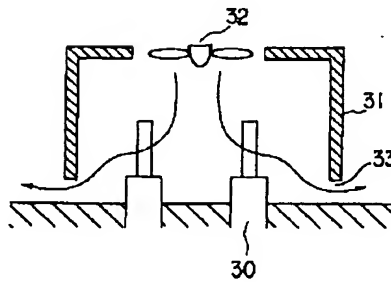
【図4】



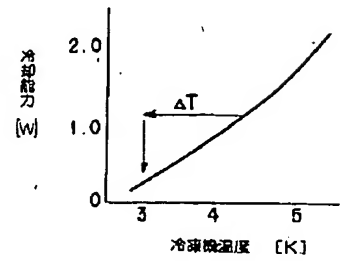
【図10】



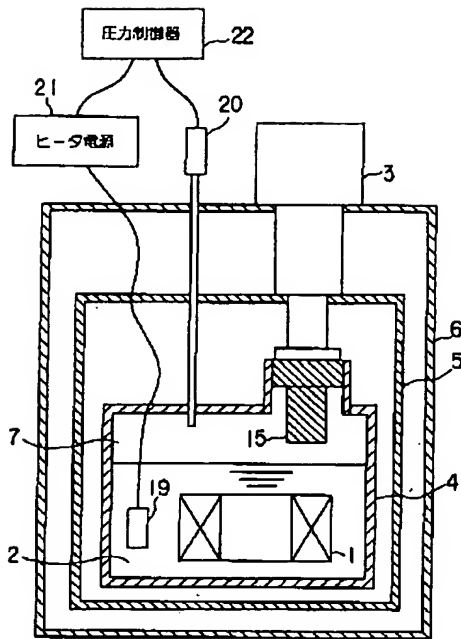
【図13】



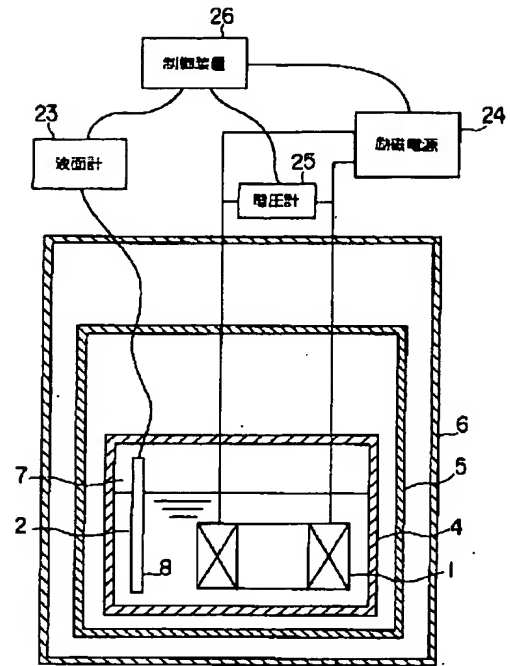
【図14】



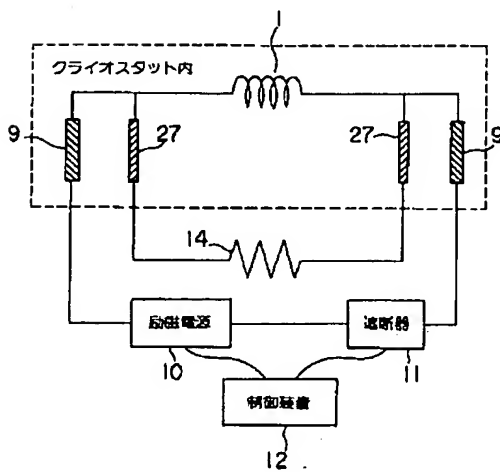
【図5】



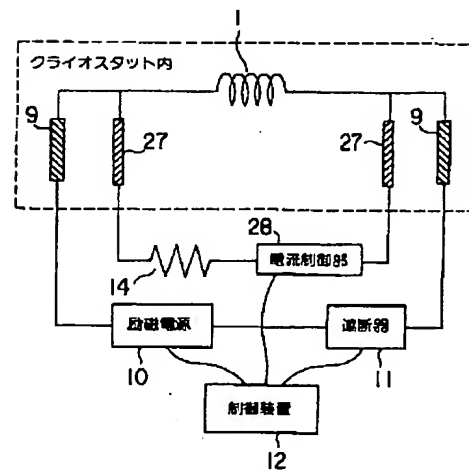
【図6】



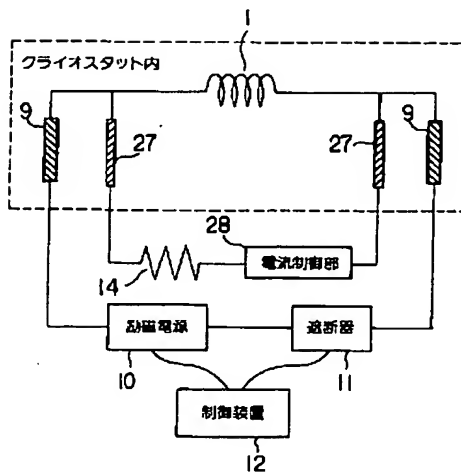
【図7】



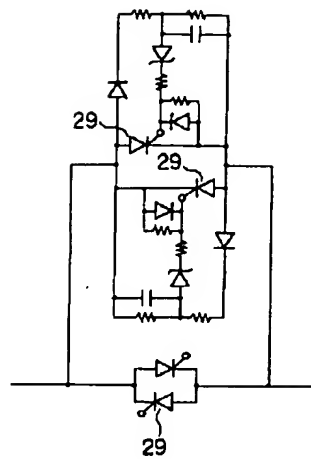
【図8】



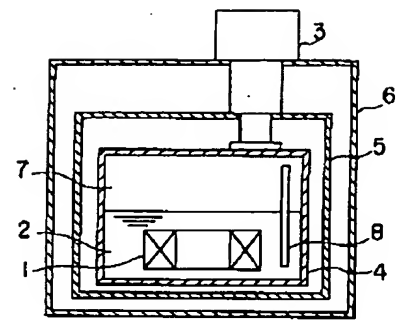
【図9】



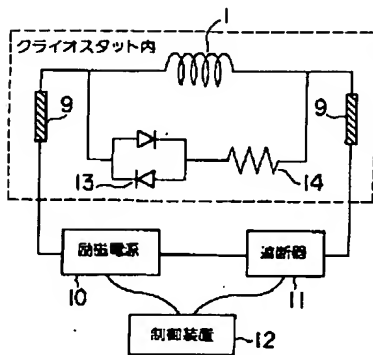
【図12】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 嶋田 守
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
株式会社東芝京浜事業所内
(72)発明者 来栖 努
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
株式会社東芝京浜事業所内

(72)発明者 土橋 隆博
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
株式会社東芝京浜事業所内
Fターム(参考) 4M114 AA14 AA17 AA18 AA31 CC03
CC05 CC11 CC13 CC16 DA07
DA09 DA10 DA12 DA45 DA51
DB02 DB67